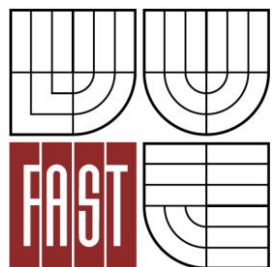




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

3D MODEL OBCE KOJKOVICE U TŘINCE

3D MODEL OF KOJKOVICE MUNICIPALITY NERBY TŘINEC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KRZYSZTOF SZTURC

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. DALIBOR BARTONĚK, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Krzysztof Szturc
Název	3D model obce Kojkovice u Třince
Vedoucí bakalářské práce	doc. Ing. Dalibor Bartoněk, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2013
Datum odevzdání bakalářské práce	30. 5. 2014
V Brně dne 30. 11. 2013	

.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Fišer, Z., Vondrák, J. a kol. Mapování. 2. vydání Brno, CERM s. r. o. 2006, ISBN 80-7204-472-9
2. Fišer, Z., Vondrák, J. Mapování II. Brno, VUT v Brně 2004, ISBN 80-214-2669-1
3. Tuček, J.: Základy GIS, principy a praxe. Computer Press 1998.
4. Firemní literatura k systému ARC/INFO nebo Geomedia Intergraph
5. Další elektronické zdroje podle potřeby.

Zásady pro vypracování

1. Seznamte se s problematikou geografických informačních systémů (GIS).
2. Vyhledejte vhodné podklady pro tvorbu 3D modelu ve vybrané části obce Kojkovice u Třince.
3. Získané podklady doplňte podle potřeby přímým měřením v terénu.
4. Podklady ad 2) 3) převed'te do digitální formy v prostředí ARC/INFO nebo Geomedia Intergraph a zpracujte je ve formě geografického informačního systému (GIS) jako 3D model.

Výstupy: technická zpráva a přílohy.

Předepsané přílohy

.....
doc. Ing. Dalibor Bartoněk, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Tématem této práce je tvorba 3D modelu části obce Kojkovice u Třince. Je popsán postup měření a zpracování naměřených dat. Dále je podrobně uveden postup tvorby TIN z dat naměřených i z dat ZABAGED poskytnutých ČÚZK. Model je vytvářen v softwaru ArcMap s použitím nadstavby 3D Analyst. Oba modely jsou následně vzájemně porovnány. Výsledkem práce je digitální model terénu vybraného území.

Klíčová slova

3D model, DMT, ArcGIS, GIS, Kojkovice, 3D Analyst, TIN

Abstract

The topic of this thesis is creation of 3D model of part of Kojkovice municipality nearby Třinec. It describes the procedure of measuring and processing measured data. Next part contains detailed process of creation of the TINs both from measured data and from ZABAGED data granted by ČÚZK. Model is created using software ArcMap with 3D Analyst extension. Both models are then compared. The result of the thesis is a digital terrain model of chosen area.

Keywords

3D model, DTM, ArcGIS, GIS, Kojkovice, 3D Analyst, TIN

...

Bibliografická citace VŠKP

Krzysztof Szturc *3D model obce Kojkovice u Třince*. Brno, 2014. 43 s., 26 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Dalibor Bartoněk, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2014

.....
podpis autora
Krzysztof Szturc

Poděkování:

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Daliboru Bartoňkovi, CSc. za odbornou pomoc a cenné rady při jejím vypracovávání.

V Brně dne 27.5.2014

.....

OBSAH

1. Úvod.....	10
2. Měřické práce	11
2.1. Popis lokality	11
2.2. Průběh měření.....	12
2.3. Totální stanice Trimble Zeiss 3603 DR.....	13
2.4. Měřické náčrty.....	13
3. Výpočetní práce	15
3.1. Výpočetní metody	15
3.1.1. Polygonový pořad	15
3.1.2. Rajón.....	18
3.1.3. Tachymetrie	18
3.2. Postup výpočtů	20
3.2.1. Výpočet měřické sítě	20
3.2.2. Vyrovnání sítě a výpočet podrobných bodů	21
3.1. Tvorba účelové mapy v programu MicroStation.....	22
4. Geografické informační systémy	24
4.1. Digitální model terénu	24
4.2. Typy terénních modelů.....	24
4.2.3. Polyedrický model	24
4.2.4. Rastrový model	24
4.2.5. Plátový model	25
4.3. Základní báze geografických dat.....	25
4.4. Software ArcGIS	26
4.5. Nadstavba 3D Analyst.....	27
5. Tvorba DMT	28
5.1. Import dat	28
5.2. Tvorba TIN z dat ZABAGED	28
5.3. Tvorba TIN z měřených dat.....	30

5.4.	Úprava TIN.....	31
5.5.	Vyhlazení a export vrstevnic	32
5.6.	Porovnání naměřených dat s daty ZABAGED	34
5.7.	Polohopis	37
6.	Závěr	39
7.	Seznam informačních zdrojů	40
8.	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	41
9.	Seznam obrázků.....	42
10.	Seznam příloh	43

1. Úvod

Hlavním cílem této bakalářské práce je zaměření vybrané lokality pro vytvoření digitálního modelu terénu vybrané lokality na okraji města Třince. Práce je členěna chronologicky, v každé kapitole je popsána jak teoretická část, tak i praktický postup.

Na začátku je popsána lokalita a technologie měření. Měření bylo poměrně náročné, jde o jámy pozůstalé po těžbě vápence, velmi hustě porostlé křovinami. Aby mohly být tvary terénu zachyceny, bylo naměřeno celkem 904 podrobných bodů. Pro špatnou dohlednost bylo nutno vytvořit hustou síť pomocných měřických bodů. Část byla určena polygonovými pořady, další metodou rajonu.

Ve druhé kapitole jsou uvedené použité metody výpočtů. Je popsán postup zpracování naměřených dat, který proběhl v geodetickém programu Groma. V něm byly vypočteny polygonové pořady a následně ostatní body pomocné měřické sítě. Všechny tyto body byly dále předmětem síťového vyrovnání.

V další kapitole se nachází vysvětlení pojmu GIS a přiblížení problematiky digitálního modelu terénu. Také je tu popsán použitý podklad ZABAGED, a software ArcGis, ve kterém je tvořen 3D model.

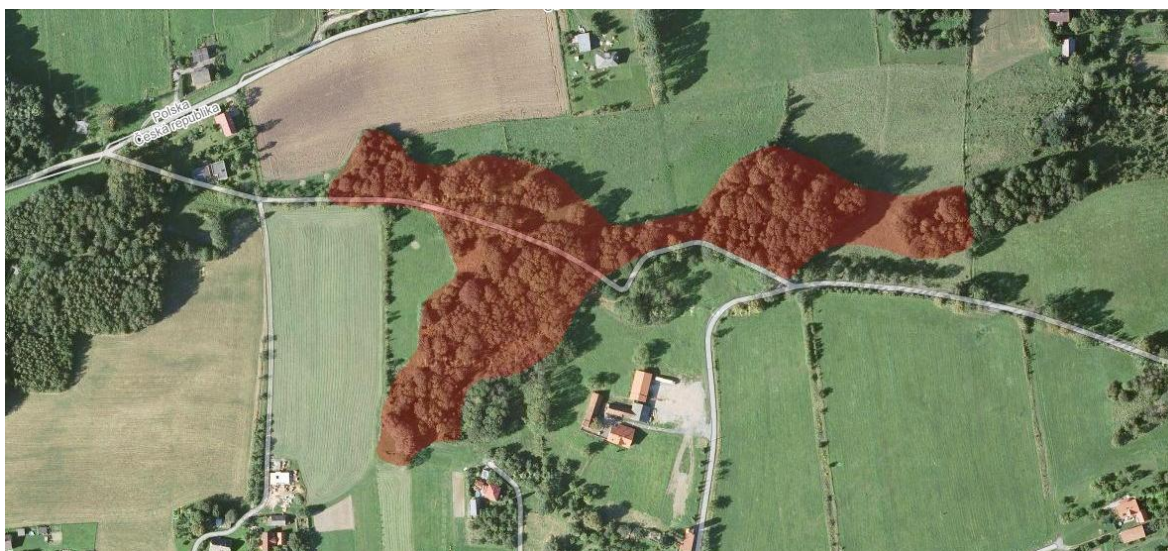
Poslední kapitola je zaměřena na praktický postup při tvorbě digitálního modelu terénu od importu dat až po vytvoření výstupů. Je zde také uvedeno porovnání modelu vytvořeného z naměřených dat s modelem ZABAGED.

2. MĚŘICKÉ PRÁCE

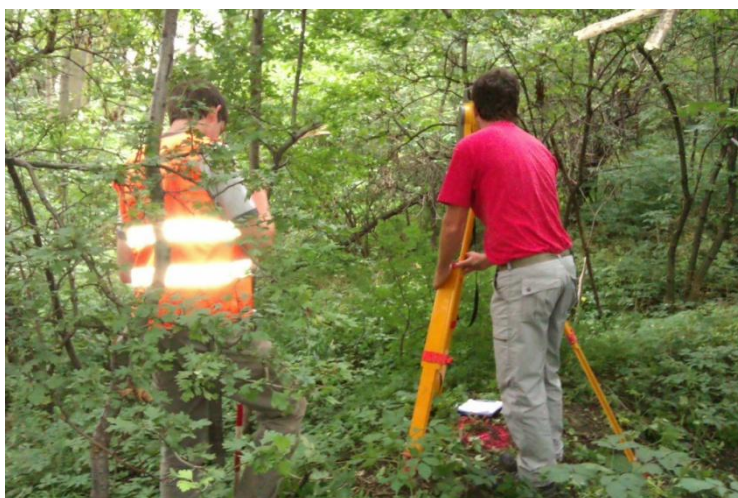
2.1. Popis lokality

Zvolená lokalita se nachází na okraji města Třince, nedaleko česko-polské hranice. Jedná se o území, ve kterém se v minulosti těžil vápenec, nyní se tedy skládá především z vytěžených jam a nahromaděných kup. Celá lokalita je velmi hustě porostlá náletovými dřevinami, jako je například habr a také křovinami: trnkami a černým bezem. Plocha mapovaného území je 4,5 ha.

Obvod mapovaného území je graficky znázorněn na Obr. 1. Měření mělo sloužit kromě zpracování této práce také k výpočtu kubatur vytěžených jam.



Obr. 1 – Vyznačení zadané lokality



Obr. 2, 3 – Fotografie lokality

2.2. Průběh měření

Rekognoskace terénu proběhla začátkem července roku 2012. Část lokality byla zaměřena v několika následujících dnech, zbylá část pak až na podzim, kdy se následkem opadání listů velmi znatelně zvýšila dohlednost a tudíž i dosah totální stanice a obecně efektivita měření. Vzhled lokality je přiblížen na Obr. 2 a 3.

Lokalita byla měřena postupně, tak jak to umožňoval terén. Ihned po stabilizaci pomocného měřického bodu následovalo zaměření osnovy směrů na již stabilizované viditelné body, výběr vhodného místa pro další pomocné měřické body a jejich stabilizace a zaměření, a zároveň měření podrobných bodů. Stabilizace byla realizována kovovým hrotem nebo dřevěným kolíkem.

Měřická síť byla do S-JTSK připojena měřením na trigonometrickém bodě 937220140, zajišťovacím bodě 937220143 a bodech podrobného polohového bodového pole (PPBP) 000000514 a 000000521. Osnovy směrů byly orientovány také na bod 000000513 a vzdálenější body 937230040 (věž kostela v Třinci) a 937230021 (vysílač na Javorovém). Dále měl být ve východní části lokality pro kvalitnější připojení zaměřen metodou GNSS bod 4001, avšak toto měření se z různých důvodů neuskutečnilo a na tento bod tedy ani nebylo měřeno. Výškově byly pomocné měřické body do systému Bpv připojeny na tytéž známé body a jejich výška je vypočtena trigonometricky.

Podrobné body byly zaměřeny tachymetrickou metodou současně s měřením měřické sítě. Rozmístění podrobných bodů bylo voleno tak, aby bylo možné co nejlépe vystihnout tvar terénu a objem jam respektive kup. Hustota bodů je 5 – 20 metrů, liší se podle členitosti terénu. V měřítku mapy 1:500 to odpovídá vzdálenosti 10 – 40 mm.

Naměřená data byla registrována do paměti totální stanice Trimble Zeiss 3603 DR. Zápisníky měření jsou obsahem přílohy č. 1. Celkem bylo zaměřeno 904 podrobných bodů ze 48 stanovisek.

2.3. Totální stanice Trimble Zeiss 3603 DR

Pro měření polohopisu a výškopisu byla použita totální stanice Trimble Zeiss 3603 DR. Přístroj umožňuje měření vzdáleností v hranolovém i bezhranolovém módu, měřené veličiny lze zaznamenávat do paměti přístroje. Některé technické parametry přístroje jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab.1 – Technické parametry Trimble Zeiss 3603 DR

Zvětšení dalekohledu	30x
Přesnost měření úhlů	0.9 mgon
Přesnost měření délek - hranol	2mm + 2 ppm
Přesnost měření úhlů - DR mód (bezhranolový)	3 mm + 2 ppm

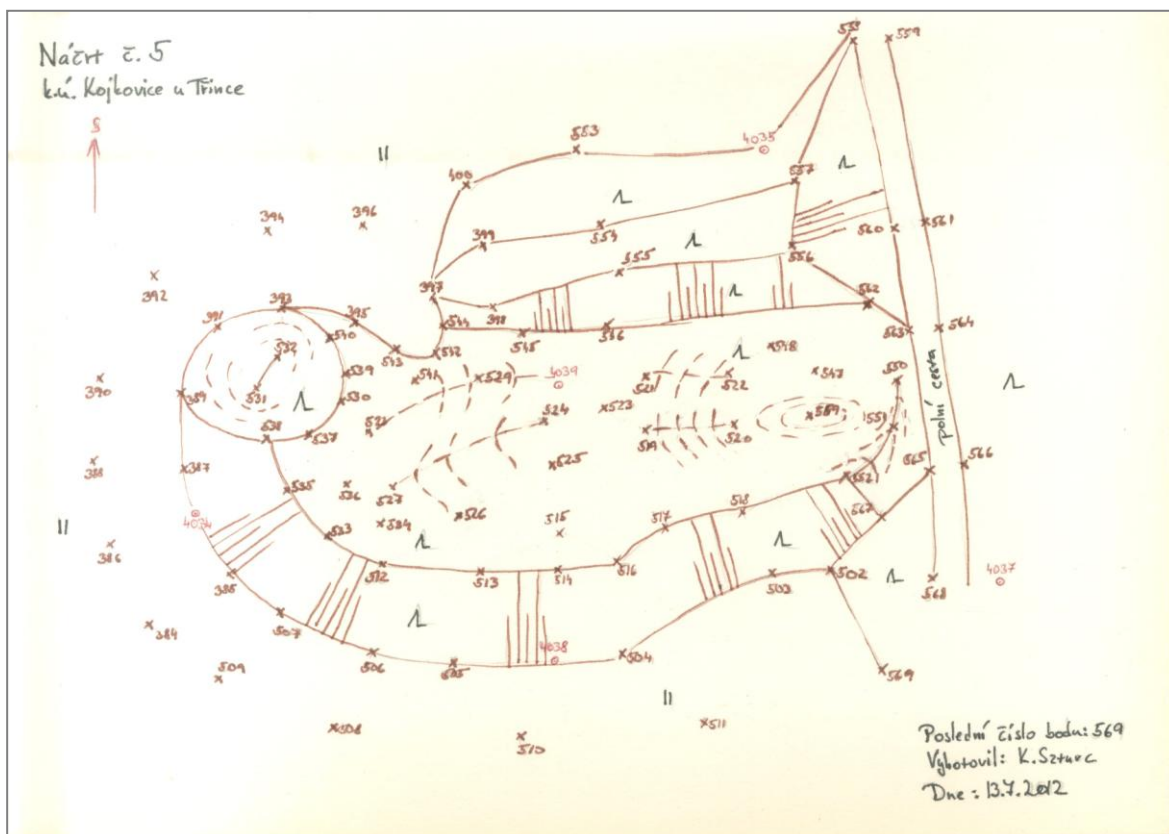


Obr. 4 – Trimble Zeiss 3603 DR

2.4. Měřické náčrty

V průběhu měření bylo vyhotoveno celkem 9 měřických náčrtů.

Jediným, jako podklad použitelným, polohopisným prvkem v lokalitě je silnice, a tak byly náčrty kresleny na čistý, obyčejný papír formátu A4. Tyto náčrty byly však už v průběhu měření téměř úplně zničeny. Na vině je hlavně náročnost terénu a také nepřízeň počasí. I když je to proti logice jejich pořizování, náčrty byly překresleny a tyto překreslené a adjustované náčrty jsou obsahem přílohy č. 2. Ukázka náčrtu č. 5 je uvedena na Obr. 5.



Obr. 5 Ukázka měřického náčrtu

3. VÝPOČETNÍ PRÁCE

3.1. Výpočetní metody

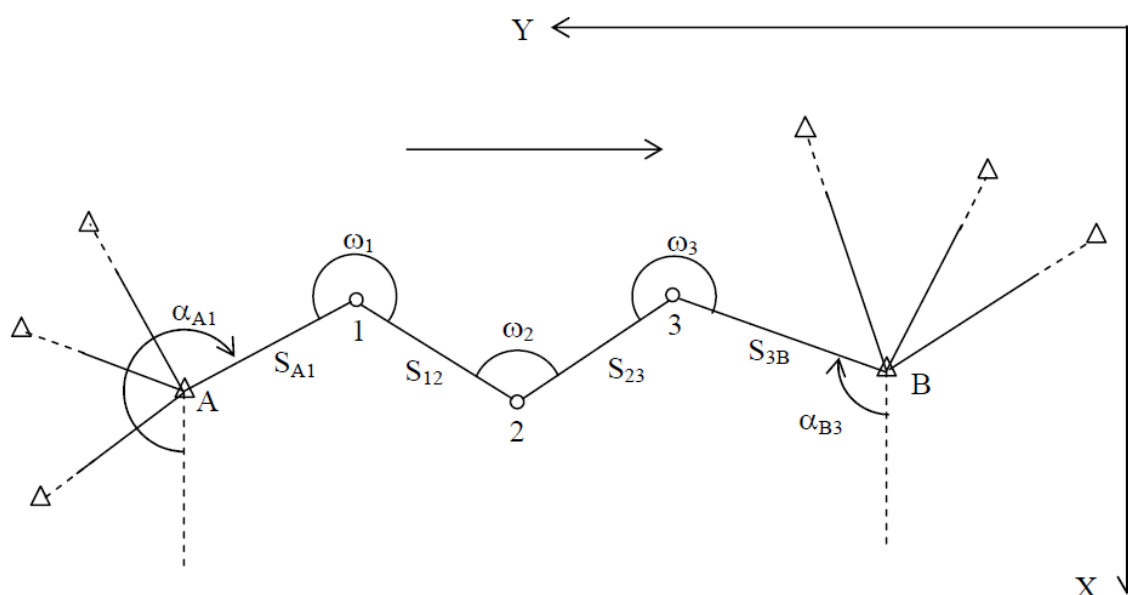
3.1.1. Polygonový pořad

Polygonový pořad je definován jako průmět prostorové lomené čáry do roviny. Jeho vrcholy jsou polygonové body. Spojnice polygonových bodů se nazývají polygonové strany. K určení polohy polygonových bodů se měří na polygonových bodech osnovy směrů, z nichž se určí vrcholové úhly. Délky stran se měří dvakrát, tam a zpět. Orientace pořadů se děje směrovým připojením z koncových bodů na body základního polohového bodového pole (ZBPB), zhušťovací body a body PBPP. Z naměřených směrů se na koncových bodech vypočítají orientované jižníky.

Polygonové pořady můžeme rozdělit na:

- Oboustranně připojené a oboustranně orientované
- Oboustranně připojené a jednostranně orientované
- Vetknuté – oboustranně připojené, bez orientací
- Volné – jednostranně připojené a jednostranně orientované
- Uzavřené – orientace na počátečním bodě, pořad začíná a končí na stejném bodě
- Uzavřené neorientované – v místní souřadnicové soustavě

(Nevosád, 2005, s. 59)



Obr. 6 – Výpočet polygonového pořadu (Nevosád, 2005)

V našem případě byly použity pouze polygonové pořady oboustranně připojené a orientované. U tohoto typu polygonového pořadu jsou dány souřadnice počátečního a koncového bodu $A (X_A, Y_A)$, $B (X_B, Y_B)$ a souřadnice dalších bodů pro orientaci osnovy směrů. K určení orientovaného jižníku α_{A1} na počátečním bodě, α_{B3} na koncovém bodě jsou měřeny osnovy směrů ψ_{Ai} , ψ_{Bi} a na polygonových bodech směry $\psi_{i-1,i+1}$ k určení ω'_i . Dále pak délky polygonových stran $s_{i,i+1}$ viz Obr. 5.

U tohoto typu pořadu jsou měřeny tři nadbytečné veličiny, dochází tedy k vyrovnání úhlovému a souřadnicovému. Výpočet probíhá v následujících krocích:

1. Ze souřadnic daných bodů a z měřených osnov na počátečním a koncovém bodě se vypočtou orientované jižníky α_{A1}, α_{B3} .
2. Z naměřených směrů na vrcholech pořadu se vypočtou vrcholové úhly ω'_i .

$$\omega'_i = \psi_{i,i+1} - \psi_{i,i-1}$$

3. Z orientovaných směrů α_{A1}, α_{B3} a vrcholových úhlů ω'_i se vypočte úhlový uzavěr O_ω .

$$O_\omega = \alpha_{B3} - \alpha'_{B3},$$

$$\text{kde } \alpha'_{B3} = \alpha_{A1} + \sum_{i=1}^n \omega'_i - i2R.$$

4. Vypočtený úhlový uzavěr O_ω se porovná s dovolenou odchylkou $\Delta\omega$, je-li splněna podmínka $|O_\omega| \leq \Delta\omega$, pokračuje se dále ve výpočtu. V případě překročení $\Delta\omega$ je nutno po ověření daných a měřených veličin měření zopakovat.
5. Vypočtený uzavěr O_ω se rovnoměrně rozdělí na vrcholové úhly ω'_i ale i na orientované jižníky α_{A1}, α_{B3} .

$$v_{\omega_i} = \frac{O_\omega}{n}; \quad \omega_i = \omega'_i + v_{\omega_i}; \quad \alpha'_{A1} = \alpha_{A1} + v_{\omega_i}; \quad \alpha'_{B3} = \alpha_{B3} + v_{\omega_i},$$

kde n je počet bodů, na kterých bylo měřeno.

6. Vypočítají se vyrovnané jižníky.

$$\sigma_{A1} = \alpha'_{A1} + v_{\omega_i};$$

$$\sigma_{12} = \sigma'_{A1} + \omega_1 - 2R.$$

7. Výpočet přibližných souřadnicových rozdílů $\Delta X_{i,i+1}$, $\Delta Y_{i,i+1}$ z vyrovnaných jižníků $\sigma_{i,i+1}$ a délek stran $s_{i,i+1}$.

$$\begin{array}{ccc} \Delta X'_{A1} = s_{A1} \cdot \cos \sigma_{A1} & & \Delta Y'_{A1} = s_{A1} \cdot \sin \sigma_{A1} \\ \vdots & ; & \vdots \\ \Delta X'_{B3} = s_{B3} \cdot \cos \sigma_{B3} & & \Delta Y'_{B3} = s_{B3} \cdot \sin \sigma_{B3} \end{array}$$

$$\Delta X'_{AB} = \sum_1^4 s_{i,i+1} \cdot \cos \sigma_{i,i+1} \quad ; \quad \Delta Y'_{AB} = \sum_1^4 s_{i,i+1} \cdot \sin \sigma_{i,i+1}$$

8. Vypočtou se souřadnicové uzávěry O_X, O_Y ze souřadnicových rozdílů daných bodů $\Delta X_{AB}, \Delta Y_{AB}$ a ze souřadnicových rozdílů $\Delta X'_{AB}, \Delta Y'_{AB}$ vypočtených v předchozím kroku.

$$O_X = \Delta X_{AB} - \Delta X'_{AB} ; O_Y = \Delta Y_{AB} - \Delta Y'_{AB} .$$

9. Vypočte se polohový uzávěr O_P ,

$$O_P = \sqrt{O_X^2 + O_Y^2} .$$

Porovná se s mezní hodnotou odchylky polohového uzávěru, ta závisí na požadované přesnosti. V případě jejího překročení je nutno ověřit dané a měřené veličiny a měření zopakovat.

10. Vypočtou se opravy a vyrovnané souřadnicové rozdíly $\Delta X_{i,i+1}, \Delta Y_{i,i+1}$.

$$v_{X_{i,i+1}} = \frac{O_X}{n-1} ; v_{Y_{i,i+1}} = \frac{O_Y}{n-1} .$$

$$\Delta X_{i,i+1} = \Delta X'_{i,i+1} + v_{X_{i,i+1}} ; \Delta Y_{i,i+1} = \Delta Y'_{i,i+1} + v_{Y_{i,i+1}} .$$

11. Vypočtou se vyrovnané souřadnice polygonových bodů.

$$X_1 = X_A + \Delta X_{A1} ; Y_1 = Y_A + \Delta Y_{A1}$$

$$X_2 = X_1 + \Delta X_{12} ; Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{12}$$

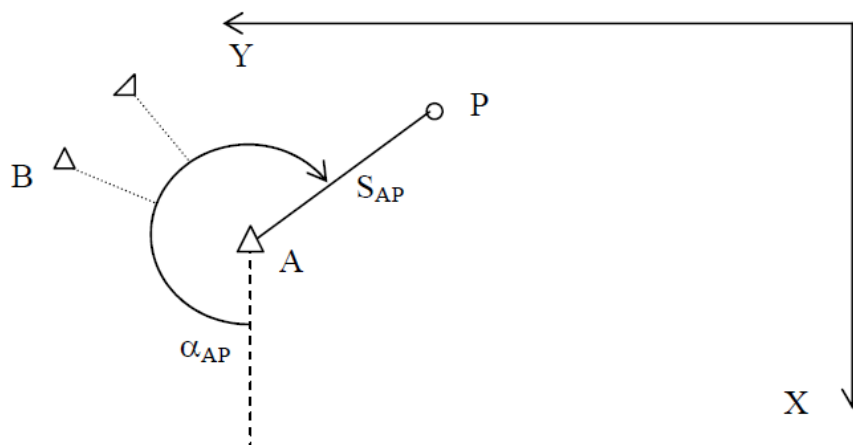
$$X_3 = X_2 + \Delta X_{23} ; Y_3 = Y_2 + \Delta Y_{23}$$

$$X_B = X_3 + \Delta X_{3B} ; Y_B = Y_3 + \Delta Y_{3B}$$

(Nevosád, 2005, s. 61)

3.1.2. Rajon

Rajonem se rozumí orientovaná a délkově zaměřená spojnice daného a určovaného bodu. Jsou dány souřadnice bodu $A (X_A, Y_A)$ a další body o daných souřadnicích $B(X_B, Y_B) \dots$ k určení orientovaného jižníku α_{AP} . Zprostředkujícími veličinami jsou měřená délka s_{AP} a měřené směry $\psi_{i,i+1}$ na daném bodě A .



Obr. 7 – Výpočet rajonu (Nevosád, 2005)

Souřadnice bodu P lze určit pomocí rovnic

$$X_P = X_A + s_{AP} \cdot \cos \alpha_{AP} = X_A + \Delta X_{AP},$$

$$Y_P = Y_A + s_{AP} \cdot \sin \alpha_{AP} = Y_A + \Delta Y_{AP},$$

$$\text{kde } \Delta X_{AP} = X_P - X_A, \Delta Y_{AP} = Y_P - Y_A.$$

(Nevosád, 2005, s. 57)

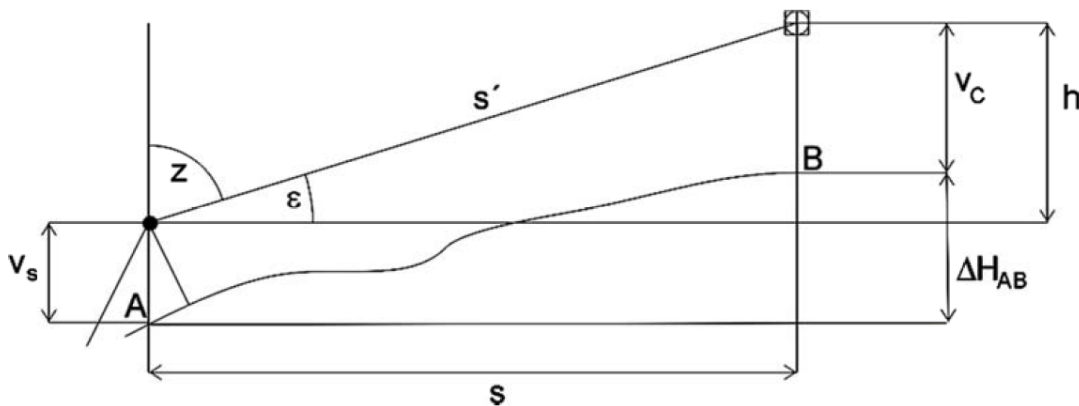
3.1.3. Tachymetrie

Tachymetrie je metoda měření, kterou určujeme polohu i výšku bodu současně. Poloha a výška jednotlivých bodů se získávají měřením polárních souřadnic tj. vodorovného úhlu, svislého úhlu a šikmé délky ze stanoviska k jednotlivým bodům. Převýšení mezi určovaným bodem a stanoviskem se počítají z měřené délky a zenitového úhlu. Osnovy měřených vodorovných směrů se orientují pomocí směrníků vypočtených ze souřadnic stanoviska a daných bodů v okolí, jejichž souřadnice jsou známy. (Vondrák, 2004, s. 19).

Určení rovinných souřadnic se provádí metodou rajonu, viz předchozí kapitola.

Převýšení bodů A a B se určí podle Obr. 8. ze vzorce

$$\Delta H_{AB} = s' \cdot \cos z + v_s - v_c$$



Obr. 8 – Trigonometrické určení výšky (Čada, 2011)

3.1.4. Síťové vyrovnání metodou nejmenších čtverců

Vyrovnání proběhlo pomocí modulu vyrovnání sítě v programu Groma.

Síť je vyrovnávána metodou nejmenších čtverců. Pro výpočet je použit propracovaný a ověřený algoritmus vyrovnání zprostředkujících měření, který je vyvíjen a testován na ČVUT Praha od roku 1982.

Program umožňuje výpočet jakéhokoli typu vázané i volné sítě. Vázaná síť je umístěna do referenčního systému pomocí zadaných pevných bodů, jejich souřadnice se vyrovnáním nemění. Volná síť je umístěna pomocí Helmertovy transformace, buď na všechny, nebo na vybrané body sítě.

Každému bodu můžete přiřadit dvě charakteristiky, které definují, jakým způsobem se bod bude podílet na vyrovnání a umístění sítě. Charakteristika bodu se zadává odděleně pro polohu a pro výšku, bod může tedy mít např. pevnou polohu a určenou výšku. (Groma - Rozšiřující modul pro vyrovnání sítí MNČ, 2010)

3.2. Postup výpočtů

3.2.1. Výpočet měřické sítě

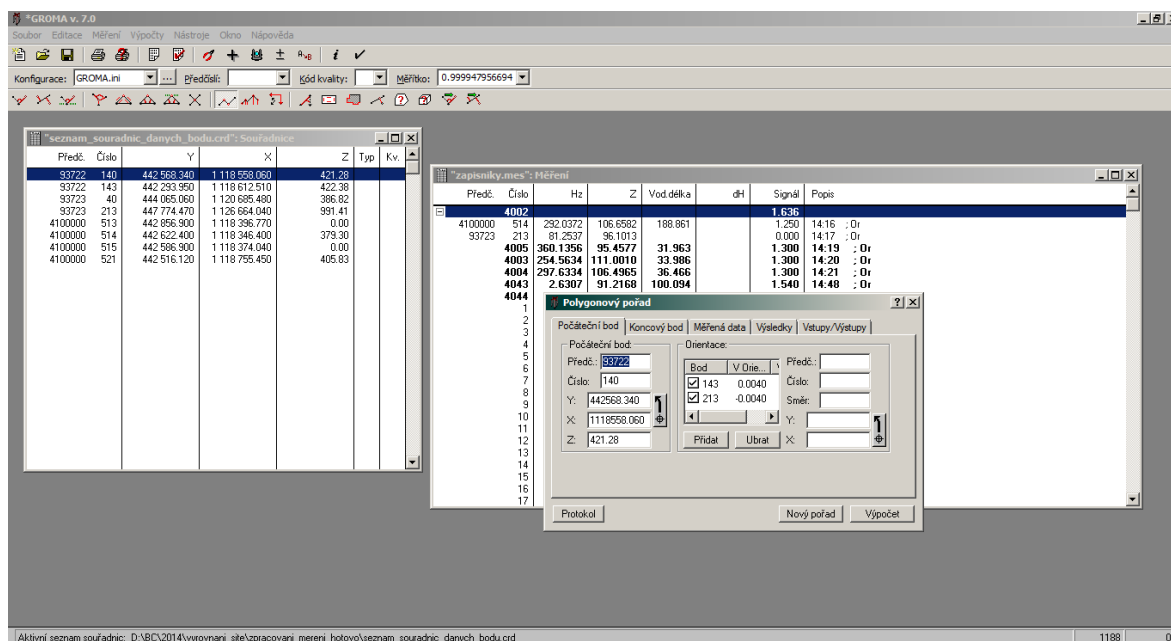
Výpočet souřadnic jak bodů pomocné měřické sítě, tak i podrobných bodů proběhl v geodetickém programu Groma, byla použita starší verze tohoto programu – Groma 7. Z toho důvodu jsou ve výpočetních protokolech a v seznamech souřadnic použity ještě 12-místná čísla bodů, která by měla být podle vyhl. č. 357/2013 Sb. již 9-místná.

Jako první byl načten z textového souboru seznam souřadnic daných bodů. Ze souřadnic trigonometrického bodu 937220140, který se nachází přibližně ve středu měřené lokality, byly vypočteny korekce ze zobrazovací roviny a z nadmořské výšky, které byly následně zavedeny při importu zápisníku měření. Zápisník byl načten ve formátu *.zap, je v příloze č. 1. Zápisník byl před výpočty editován, konkrétně byly sloučeny osnovy směrů měřené dvakrát na stejných bodech a spočítána převýšení.

Následoval výpočet souřadnic pomocných měřických bodů. Tam kde to bylo možné, byly souřadnice vypočteny metodou polygonových pořadů. Program Groma umožňuje provést výpočet polygonových pořadů velmi intuitivně, načte se zápisník, a následně program sám nabízí možné body pořadu. Výpočet je zobrazen na Obr. 9. První dva pořady vedou mezi body polohového bodového pole a další čtyři pořady mezi již takto určenými pomocnými měřickými body:

- 937220140 – 937220143
- 000000514 – 000000521
- 4017 – 4031
- 4002 – 937220140
- 4005 – 937220140
- 4044 – 4013

Z důvodu nepřehlednosti terénu nebyly u některých pořadů dodrženy požadované geometrické parametry a také se u některých vyskytly překročené mezní odchylky.



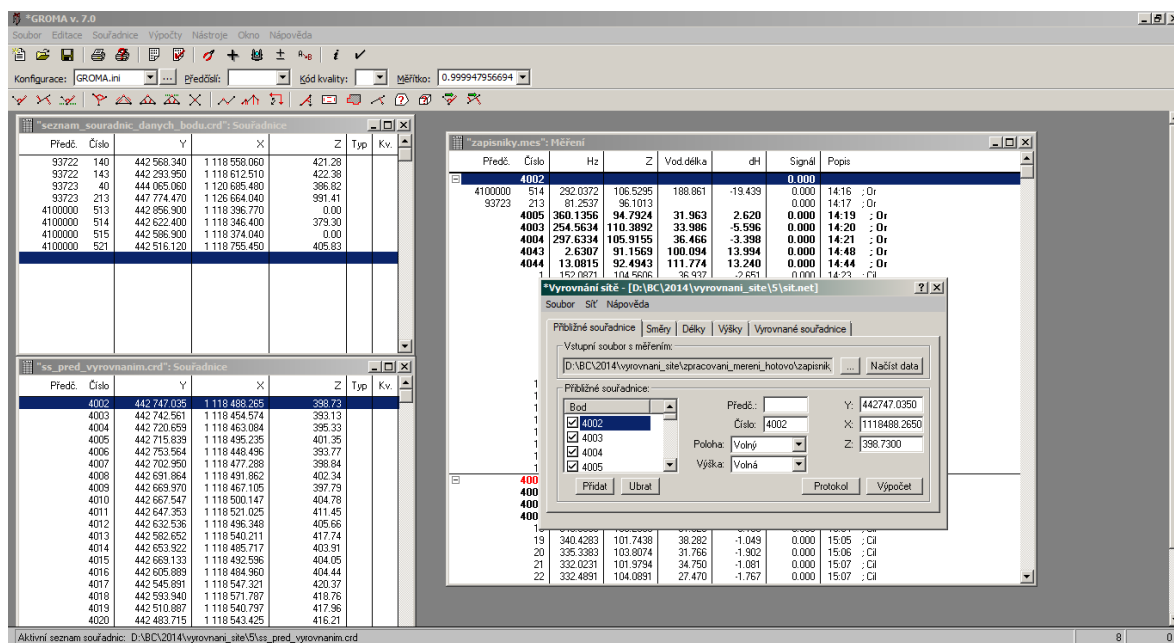
Obr. 9 – Výpočet polygonového pořadu v programu Groma

V dalším kroku byly ze souřadnic bodů určených polygonovými pořady vypočteny další stanoviště zaměřené rajonem, pomocí funkce Polární metoda dávkou. V zápisníku byly označeny pouze body měřické sítě tak, aby zatím nebyly počítány souřadnice podrobných bodů. Mezní odchylka v úhlu byla překročena na jednom bodě, kde byla měřená velmi krátká vzdálenost na sousední stanoviště. Protokoly o výpočtech polygonových pořadů i polární metody jsou obsahem přílohy č. 3.1.

3.2.2. Vyrovnání sítě a výpočet podrobných bodů

Po výpočtu souřadnic bodů polygonových pořadů a rajónů bylo dále provedeno síťové vyrovnání. Groma pro tento výpočet nabízí přídavný modul Vyrovnání sítě. Byl vybrán zápisník a z něho automaticky načtena data. Doposud vypočtené souřadnice a výšky bodů pomocné měřické sítě byly použity jako přibližné, pouze u bodů základního a podrobného polohového bodového pole byla poloha a výška zvolena jako pevná. Proběhl výpočet, souřadnice a výšky pomocných měřických bodů byly vyrovnány a následně byly vypočteny podrobné body pomocí funkce Polární metoda dávkou. Byl uložen protokol a souřadnice byly exportovány do textových souborů (přílohy č. 3.2, 3.3 a 4). Prostředí výpočtu vyrovnání sítě je zobrazeno na Obr. 10.

Střední souřadnicové chyby vyrovnaných bodů se pohybují od 6 mm do 45 mm, průměrná hodnota je 28 mm. Střední chyby vyrovnaných výšek dosahují hodnot od 6 mm do 16 mm, přičemž průměrná střední chyba vyrovnané výšky je 11 mm.



Obr. 10 – Vyrovnání sítě v programu Groma

3.1. Tvorba účelové mapy v programu MicroStation

V programu Microstation 95 byl založen nový výkres a pomocí nadstavby MGEO načteny souřadnice bodů. Následně byla podle měřických náčrtů vytvořena kresba polohopisu. Atributy prvků byly voleny podle Pokynu pro tvorbu účelové mapy. (Tab. 2) (KALVODA, 2011). Měřítko mapy bylo zvoleno 1:500. Mapové značky byly vkládány z knihovny buněk `geo1000_v7.cel`.

Později, po exportu vrstevnic z vytvořeného modelu byl celý výkres otevřen ve verzi MicroStationu V8 a vloženy do něho vyexportované vrstevnice. Účelová mapa se nachází v příloze č. 6.

Dokončená účelová mapa byla použita jako podklad pro vytvoření přehledného náčrtu pomocné měřické sítě, který je obsahem přílohy č. 7.

Tab. 2. Tabulka atributů použitých prvků

Obsah	Vrstva	Barva	Styl	Tloušťka	Značka	Font	Výška [mm]	Šířka [mm]	Poznámka
Body (elementy)	1	0	0	2					Vypnuto pro tisk
Podrobné body - čísla	2	0	0	0		159	1,5–1,9	1,5–1,9	Vypnuto pro tisk
Podrobné body - výšky	3	70	0	0		158	1,5–1,9	1,5–1,9	
Podrobné výškové body - výšky (netisknuté)	4	70	0	0					Vypnuto pro tisk
Podrobné výškové body (terén) - značky	5	70	0	0	9.12				
Body bodových polí a pomocné měřické body - čísla	6	0	0	0		160	1,9–2,3	1,9–2,3	
Body bodových polí a pomocné měřické body - výšky	7	70	0	0		160	1,9–2,3	1,9–2,3	
Body bodových polí a pomocné měřické body - značky	8	0	0	0	1.01–1.04;	1.7			
Cesty, chodníky, okap. chodníky, schody	15	0	0	0					
Hranice kultur	16	146	0	0					
Druhy pozemků - bodové značky	16	146	0	0					
Vrstevnice základní	24	70	4.1	0					
Vrstevnice zdůrazněná	25	70	9.3	2					
Popis ploch	35	0	0	0		159	1.6	1.6	
Průsečíky sítě pravouhlých souřadnic, rohy mapových listů	62	0	0	0	Křížek				
Popisová tabulka	63	0	0	0	Tab1; Tab2				
Okrajové náčrtky	61	0	0	0					
Směrová ružice (orientace k severu)	62	0	0	0	Sever				
Ohraničení výkresu	63	0	0	0					
Popis průsečíků sítě pravouhlých souřadnic	62	0	0	0		160	1.9	1.9	

4. GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY

Geografický informační systém (GIS) spojuje hardware, software, získávání dat, správu, analýzu a zobrazení všech forem geograficky vztažené informace. GIS umožňuje prohlížet, chápat, tázat se, interpretovat a vizualizovat data, která odhalují vztahy, struktury a trendy v podobě map, glóbulů, výpisů a grafů.

Data GIS jsou v databázi uchovávána ve vrstvách, každá vrstva pro jiný druh informace. Tyto vrstvy mohou obsahovat data v podobě bodů (např. hustota obyvatel), linií (říční síť, komunikace) nebo polygonů (státy, okresy). Další možností je rastrový model, kde každému bodu rastru odpovídá číselná hodnota (např. množství srážek).

GIS umožňuje (v závislosti na obsažených datech) řešit otázky, jako např. vyhledat nejkratší cestu mezi body, najít nejvhodnější místo pro výstavbu, zobrazit záplavové území a zjistit kolik v něm žije obyvatel atd.

4.1. Digitální model terénu

Význam termínu „Digitální model terénu“ není zdaleka tak jasný, jak by se na první pohled mohlo zdát. Především pod pojmem „terén“ bývá někdy myšleno víc, než jen reliéf zemského povrchu, ale i vodstvo, hranice kultur a správních celků, prostě většina toho, co bývá zobrazeno na topografických mapách. Dále pak se pod digitálním modelem může myslet i jisté programové vybavení pro řešení různých úloh na terénu. (Urban, 1991)

4.2. Typy terénních modelů

4.2.3. Polyedrický model – Elementárními ploškami jsou v tomto případě nepravidelné rovinné trojúhelníky, které k sobě přiléhají a tvoří tak nepravidelný mnohostěn, který se přimyká k terénu. Vrcholy mnohostěnu jsou body na terénní ploše, souřadnicově určené příslušnými geodetickými metodami. Interpolace se obvykle provádí lineárně v trojúhelnících.

4.2.4. Rastrový model – Jak sám název napovídá, je dán množinou elementárních plošek nad oky pravidelného rastru. Jsou to vlastně zborcené čtyřúhelníky, které je možno rozdělit na trojúhelníky, případně je možno uvažovat i jiné, složitější plochy.

Vrcholy, či spíše uzly pravidelné sítě obvykle nebývají přímo měřené, ale jsou odvozené určitým výpočetním postupem. Pravidelné uspořádání dat v matici představuje oproti polyedrickému modelu značné výhody. Je však zřejmé, že hranice elementárních plošek nemohou sledovat průběh singularit, což může být na závadu přesnosti, není-li rastr dost hustý.

4.2.5. Plátový model – Tento typ modelu předpokládá, že se povrch rozdělí na nepravidelné, obecně křivé plošky trojúhelníkového nebo čtyřúhelníkového tvaru, přičemž hranice dělení se vedou po singularitách (místa, kde je hladkost terénu narušena, např. terénní stupeň; matematicky nespojitost derivace, či nespojitost funkce). Tento způsob popisu nepravidelných křivých ploch byl prvně použit v průmyslovém designu, odkud též pochází termín plát.

Kromě těchto typů, kde je terén charakterizován elementárními ploškami je možné terén charakterizovat například vrstevnicemi v elektronické podobě, nebo jinými charakteristickými čarami. (Urban, 1991, s. 5 - 7)

4.3. Základní báze geografických dat

Jako vhodný podklad pro tvorbu 3D modelu terénu byla vybrána Základní báze geografických dat České republiky, kterou spravuje Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK). ČÚZK poskytuje data pro účely bakalářských či diplomových prací bezplatně, v maximálním rozsahu 4 mapových listů kladu Základní mapy České republiky 1: 10 000.

Byla podána žádost o bezplatné poskytnutí dat a v internetovém obchodě ČÚZK byla vytvořena nová objednávka. Žádané podklady jsou následující:

- ZABAGED – polohopis,
- ZABAGED – výškopis 3D vrstevnice,
- ZABAGED – výškopis grid 10x 10 m,
- Geonames,

všechny na stejném mapovém listu 26-11-01. Do několika dnů byly soubory připraveny ke stažení v internetovém obchodě ČÚZK.

Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED[®]) je digitální geografický model území České republiky (ČR). ZABAGED[®] je součástí informačního systému zeměměřictví a patří mezi informační systémy veřejné správy. Je vedena v podobě

bezešvé databáze pro celé území ČR, v centralizovaném informačním systému spravovaném Zeměměřickým úřadem.

ZABAGED[®] je v současné době tvořena 123 typy geografických objektů zařazených do polohopisné nebo výškopisné části ZABAGED[®]. Polohopisná část ZABAGED[®] obsahuje dvourozměrně vedené (2D) prostorové informace a popisné informace o sídlech, komunikacích, rozvodných sítích a produktovodech, vodstvu, územních jednotkách a chráněných územích, vegetaci a povrchu, terénním reliéfu. Její součástí jsou i vybrané údaje o geodetických bodech na území ČR. Výškopisná část ZABAGED[®] obsahuje trojrozměrně vedené (3D) prvky terénního reliéfu a je reprezentována 3D souborem vrstevnic. (ČÚZK: Geoportál, 2010)

Dosavadní digitální výškový model ČR, nazývaný ZABAGED[®] – výškopis 3D vrstevnice, vznikl digitalizací vrstevnic Základní mapy ČR 1 : 10 000 v letech 1995 – 2000. Digitalizací byl vytvořen 3D vektorový model reliéfu, ze kterého byl následně odvozen model ZABAGED[®] – výškopis grid 10 x 10 m. V následujících letech Zeměměřický úřad zajišťoval aktualizaci a zdokonalení obou modelů pomocí stereofotogrammetrického vyhodnocení terénních hran a výškových bodů v rovinném území. Tímto způsobem byly odstraněny hrubé chyby a částečně i nehomogenita původních modelů, nicméně přesnost, která je pro ZABAGED[®] – výškopis 3D vrstevnice charakterizována střední výškovou chybou $m_h = 0,7 - 1,5$ m v odkrytém terénu, 1 - 2 m v intravilánech a 2 – 5 m v zalesněném území se v zásadě nezvýšila. (Brázdil, 2014)

4.4. Software ArcGIS

ArcGIS pro osobní počítače se rozděluje na tři produktové úrovně (licence):

- ArcView nabízí základní funkcionalitu pro mapování, analýzy a nástroje k jednoduchému editování a zpracování geodat.
- ArcEditor je vybaven všemi funkcemi ArcView, ale navíc má pokročilé editační možnosti.
- ArcInfo je nejvyšší verzí, která obsahuje vše předchozí a pokročilé možnosti zpracování dat.

ArcView, ArcEditor a ArcInfo mají jednotnou architekturu a uživatelé pracující s kterýmkoliv z těchto klientů mohou sdílet výsledky své práce s ostatními uživateli. Mapy, data, symboly, mapové vrstvy, uživatelské nástroje a rozhraní, výstupní sestavy,

metadata atd. mohou být vzájemně sdíleny a vyměňovány mezi všemi třemi produkty. Použití jednotné architektury přináší uživatelům i tu výhodu, že k ovládnutí kterékoliv aplikace ArcGIS Desktop se stačí naučit ovládat jediné uživatelské rozhraní.

Základním uživatelským rozhraním je ArcMap. Je to centrální aplikace ArcGIS Desktop, která slouží pro všechny mapově orientované úlohy včetně kartometrie, prostorových analýz a editace dat. ArcMap je aplikace, která poskytuje kompletní funkcionalitu pro tvorbu mapového výstupu.

Další aplikací je ArcCatalog, který pomáhá organizovat a spravovat geodata, jako jsou mapové šablony, datové sady, modely, metadata a alužby.

Funkčně nezbytnou aplikací je ArcToolbox, který obsahuje kompletní sadu funkcí pro zpracování prostorových dat, včetně nástrojů pro správu a konverzi dat, vektorové i rastrové analýzy a statistické analýzy. Každá úroveň produktu obsahuje různý počet nástrojů pro zpracování prostorových dat. (Klimánek, 2008, s. 8)

4.5. Nadstavba 3D Analyst

Je zaměřena na tvorbu, analýzu a zobrazení dat ve 3D. Poskytuje jak nástroje pro interpolaci rastrových povrchů, tak možnosti pro konstrukci TIN (Triangulated Irregular Network). Součástí jsou i nástroje pro mapovou algebru, reklasifikaci rastrů a analýzy DMT. Součástí extenze 3D Analyst jsou i aplikace ArcScene a ArcGlobe. (Klimánek, 2008, s. 9)

ArcScene je prostředí, ve kterém lze s vytvořenou TIN manipulovat jako s fyzickým modelem. Lze ji tedy různě otáčet, vytvářet efekty přeletu, nebo se po ní „procházet“.

5. TVORBA DMT

5.1. Import dat

V programu ArcMap byl založen nový, prázdný projekt. Poskytnuté podklady měly všechny název souboru podle mapového listu, tj. 26-11-01, a byly pro lepší orientaci přejmenovány. V Arc Catalogu jim bylo nutno ještě před importem přiřadit souřadnicový systém (S-JTSK Krovak East-North). Byly tedy přidány tyto čtyři soubory dat získané z ČÚZK:

- ZABAGED_polohopis.dgn,
- ZABAGED_vyskopis.dgn,
- ZABAGED_grid.shp,
- Geonames.dgn.

Kromě těchto čtyř byl ještě vložen soubor mereni.dgn, obsahující měřená data a polohopisnou kresbu podle měřických náčrtů.

Z těchto souborů byly následně vytvořeny 3 modely:

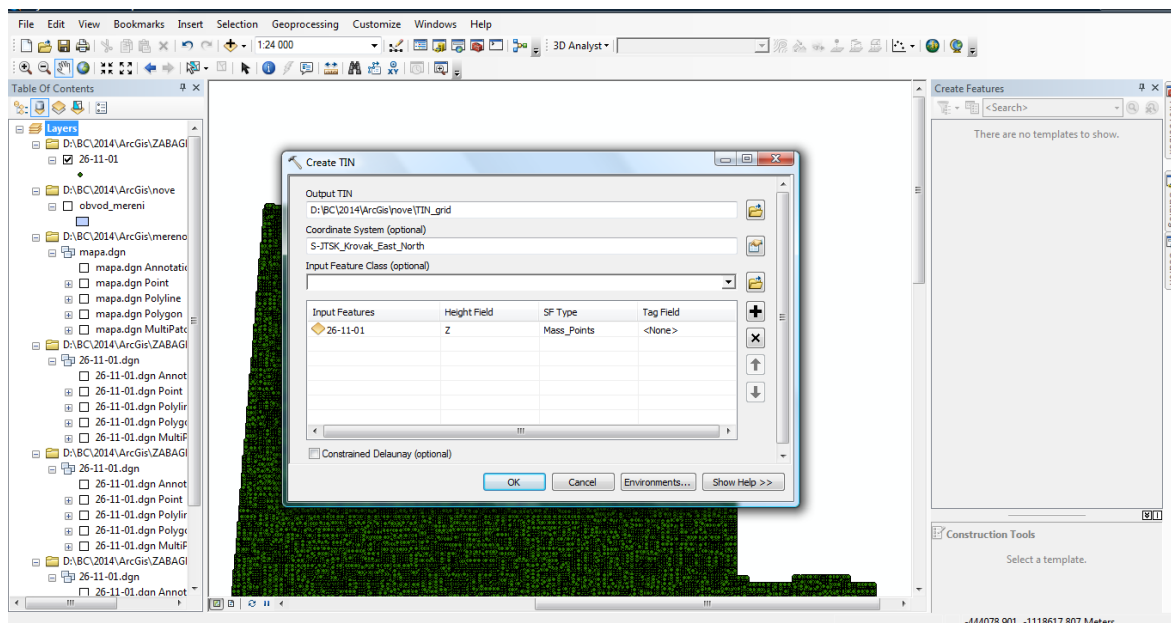
- 1) Model ZABAGED_grid, vytvořený ze souboru ZABAGED_grid.shp,
- 2) Model ZABAGED_3D_vrstevnice, ze souboru ZABAGED_vrstevnice.dgn,
- 3) Měřený model mereni, vytvořený ze souboru mereni.dgn.

Postup tvorby těchto modelů je uveden v následujících kapitolách.

5.2. Tvorba TIN z dat ZABAGED

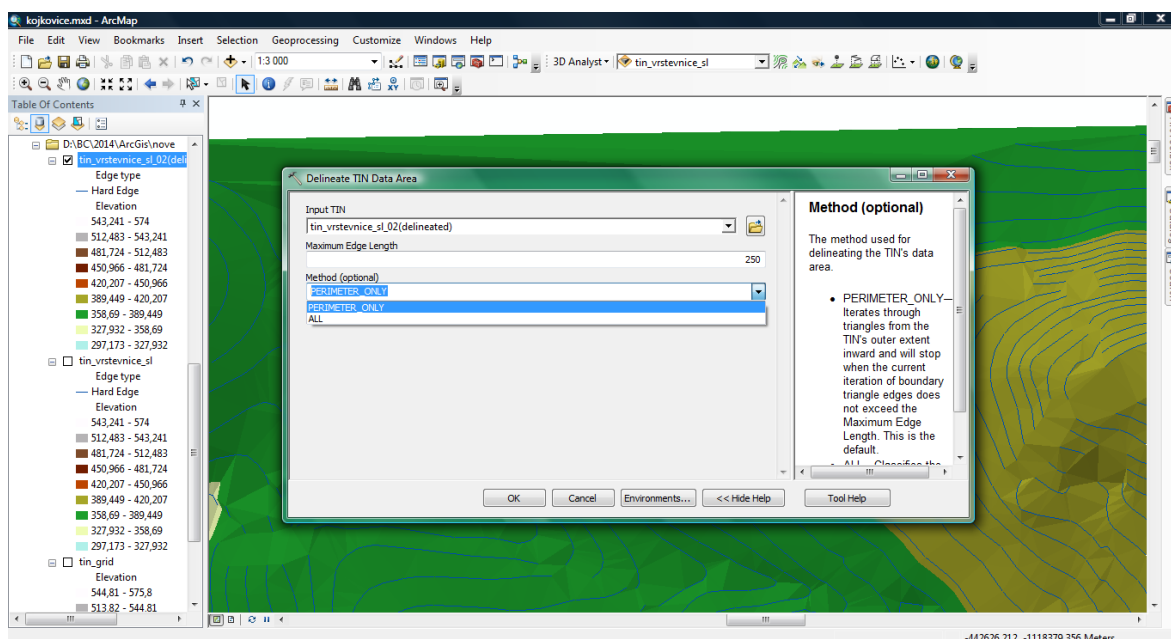
Nejprve byla vytvořena TIN ze sítě 10x10, jednoduše nástrojem `Create TIN`. Nástroj má tři pole, do pole `Output TIN` se vloží umístění nově vytvářené TIN, ve druhém poli se zvolí souřadnicový systém a do třetího lze vložit i více tříd prvků, ze kterých se bude TIN vytvářet.

Mapovým listem prochází státní hranice, a proto není zcela pokryt sítí bodů. Na okrajích tedy vznikly dlouhé trojúhelníky, protože nástroj `Create TIN` vytvoří vždy konkávní obrazec. Tyto nesmyslné tvary lze jednoduše odstranit pomocí nástroje `Delineate TIN Data Area`, který smaže všechny linie TIN delší než dané délky. V našem případě bylo třeba ponechat úhlopříčné linie ve čtvercové síti 10x10 m, nejdelší smysluplná délka je tedy $10 \cdot \sqrt{2}$ m, parametr byl proto zvolen roven 15.



Obr. 11 – Nástroj Create TIN

TIN byla vytvořena stejným způsobem z 3D vrstevnic. U tvorby TIN pomocí linií lze vybrat způsob, jakým mají být použity. V předchozím případě byla TIN tvořena z bodů, tedy SF Type (Surface Feature Type) byl zvolen jako Mass_Points. U linií je tato možnost přítomna také, pak jsou konce úseček brány jako body. Vhodnější je však použití možnosti Hard_Line nebo Soft_Line, pak jsou linie brány jako ostré nebo plynulé hrany terénu. Byla vybrána varianta Soft_Line a proběhla tvorba TIN. Opět byly pomocí funkce Delineate TIN Data Area odstraněny příliš dlouhé (parametr 250) linie, a to pouze na obvodu TIN (PERIMETER_ONLY).

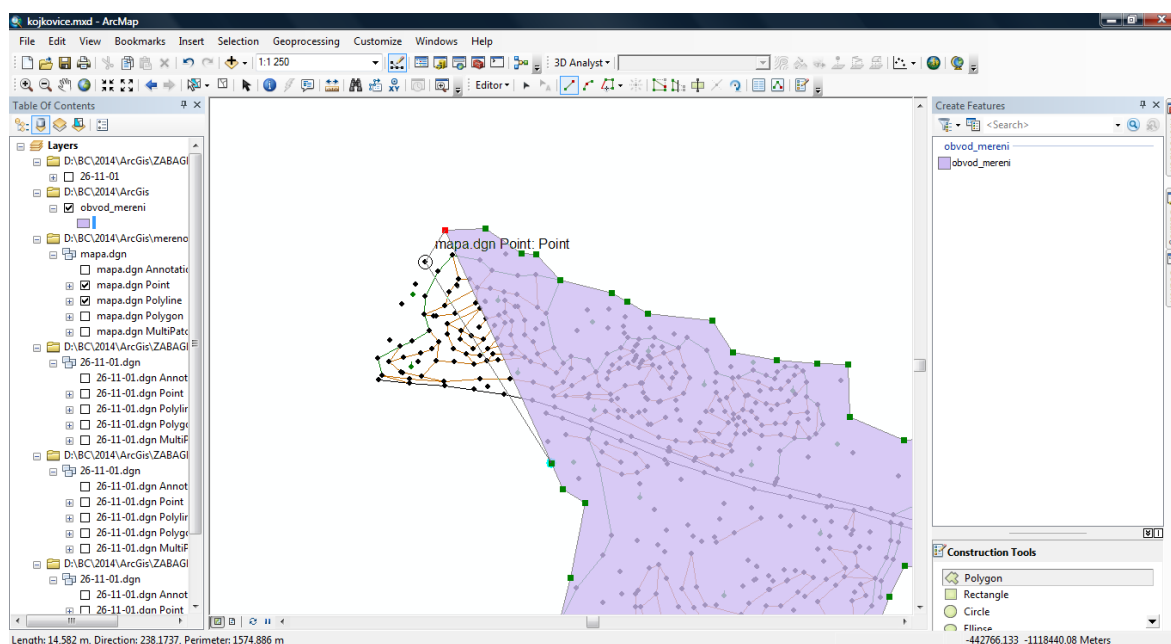


Obr. 12 – Nástroj Delineate TIN Data Area

5.3. Tvorba TIN z měřených dat

Protože v dgn souboru byly výšky bodů dány výškovými kótami, a patří tedy do jiné vrstvy (Annotation) než bodové i liniové prvky, nepodařilo se jejich obsah použít jako výškovou informaci pro tvorbu modelu. Řešením bylo následné opětovné vložení dat do programu, tentokrát ze seznamů souřadnic (File-> Add Data -> Add XY Data). Tímto krokem se sice připravíme o povinné hrany, které jsou v dgn souboru, ale tento nedostatek odstraníme v další kapitole. Seznamy souřadnic (podrobných bodů a bodů pomocné měřické sítě) bylo nutné ještě předtím mírně upravit (přidat záporná znaménka před souřadnice Y a X a přidat hlavičku ve správném tvaru pro identifikaci jednotlivých polí – soubor je vložen jako tabulka). V Table of Contents je pro zobrazení bodů možno novou třídu vybrat a zobrazit výběrem možnosti Display XY Data.

Samotná tvorba TIN pak proběhla stejně jako v předchozích případech. Pro ořez vytvořené TIN však byla zvolena jiná metoda. V Catalogu byl vytvořen nový shapefile obvod_mereni.shp, [Catalog -> New -> Shapefile; (Feature Type: Polygon)] a z nabídky Editor potom vytvořen nový polygon (Editor -> Create Features -> Polygon). Na dalším obrázku je ukázka samotné tvorby obvodového polygonu měření, bylo třeba postupně označit body na obvodu lokality.

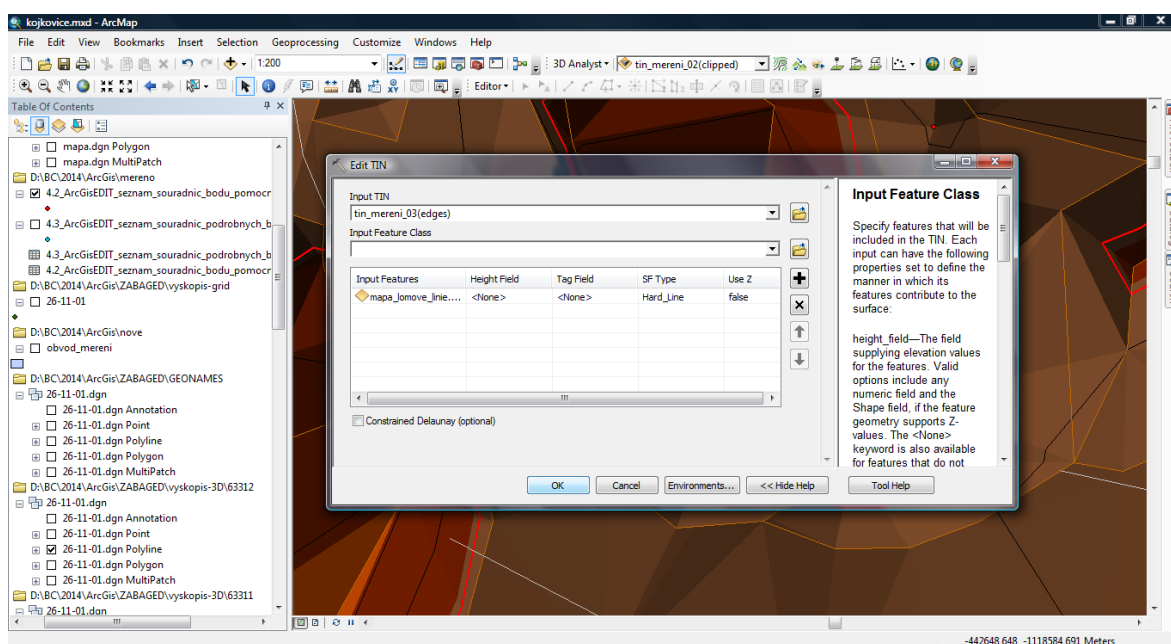


Obr. 13 – Tvorba obvodového polygonu

Samotný ořez pak byl proveden nástrojem `Edit TIN`, do kterého vstupuje editovaná TIN a třídy prvků, které mají být do TIN přidány. Pro ořez je třeba vybrat obvodový polygon a v poli `SF Type` zvolit možnost `Hard_Clip`.

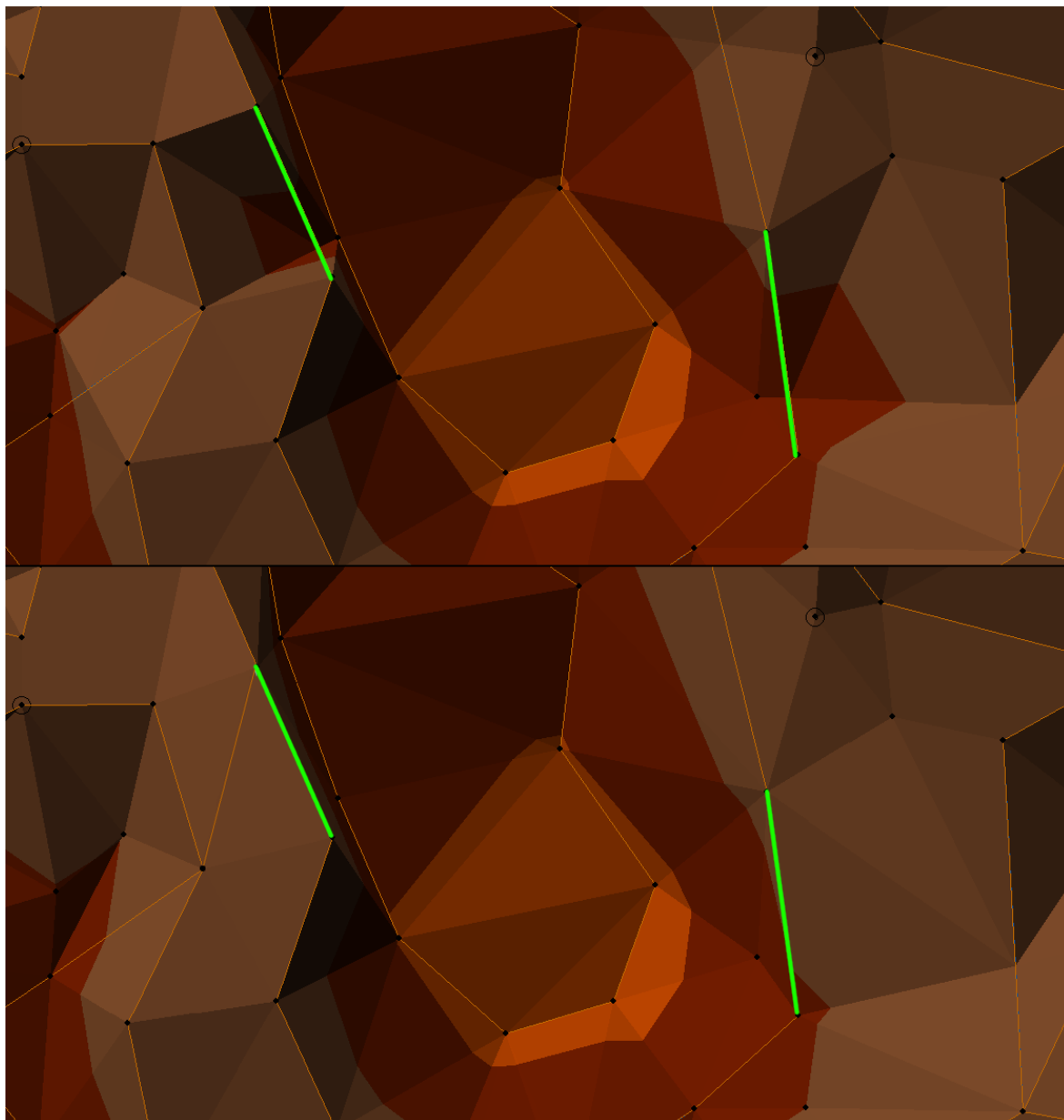
5.4. Úprava TIN

Protože byla TIN tvořena pouze z bodů, je potřeba do ní nyní přidat povinné hrany. To bylo provedeno opět nástrojem `Edit TIN`, kde jako `Input Features` byl použit nový shapefile, vytvořený z polyline vrstvy souboru `mapa.dgn`. Tato vrstva obsahuje všechny liniové prvky, mezi něž ovšem patří i některé mapové značky, a tak bylo ještě pomocí výběru dle atributů nutno vybrat prvky s atributem „Cell“ a ty vymazat. Zůstaly pouze lomové linie, které sice neobsahují výškové údaje, ale tyto mohou být načteny z již existujícího modelu, který byl právě z těchto koncových bodů linií vytvořen. (Obr. 14)



Obr 14. – Nástroj `Edit TIN`

V některých místech tvar upravené TIN zjevně neodpovídal tvaru skutečného povrchu terénu, a tak bylo potřeba vytvořenou TIN prohlédnout a ještě manuálně upravit. K tomu nejlépe vyhovovaly nástroje z lišty `TIN Editing`, konkrétně `Delete TIN Node` – pro odstranění vrcholů, které se vytvořily na hranách, ovšem se špatnou výškou, a dále `Swap TIN Edge`, který zamění hranu mezi dvěma vedlejšími trojúhelníky na alternativní možnost (druhou úhlopříčku čtyřúhelníku) - Obr. 15.



Obr. 15 – TIN před a po manuální úpravě

5.5. Vyhlazení a export vrstevnic

Vrstevnice je možno do TIN vykreslit přímo z kontextové nabídky Table of Contents (Properties, záložka Symboly). Pro další práci s vrstevnicemi je místo této možnosti nutno použít nástroj Surface Contour (3D Analyst -> Triangulated Surface -> Surface Contour), který vytvoří

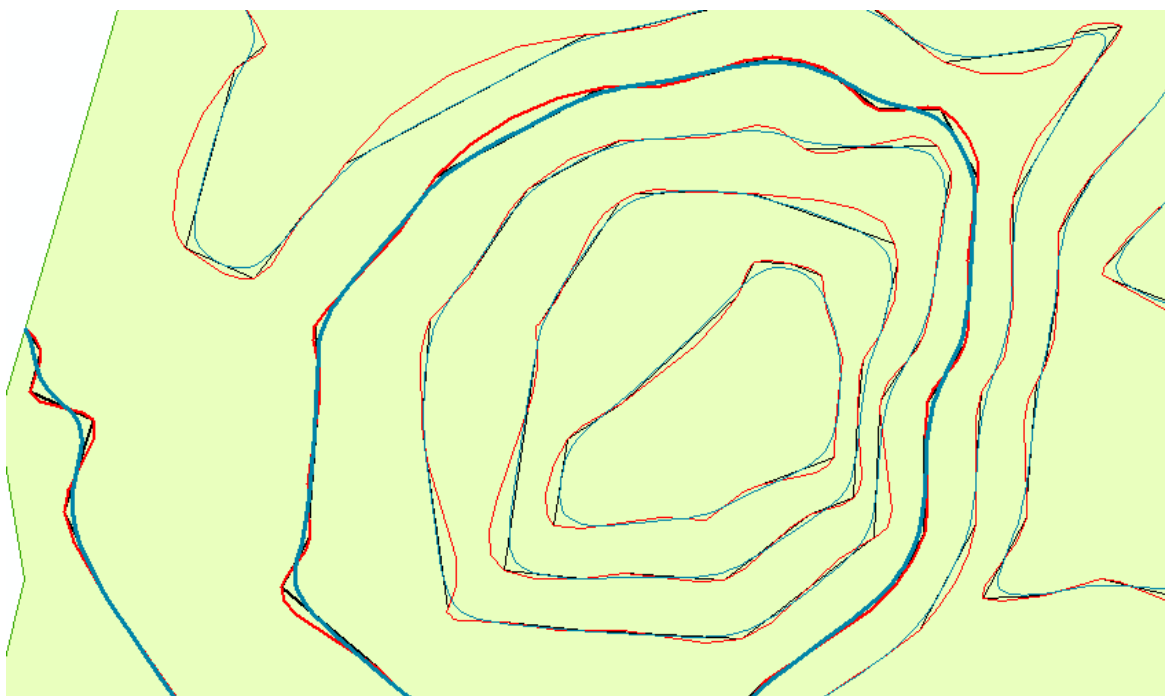
nový liniový shapefile s vrstevnicemi o požadovaném intervalu. Takové vrstevnice však jsou lomené čáry, které vypadají dosti neuspořádaně, a velmi neesteticky.

Vyhlazování vrstevnic je poměrně složité téma, a existuje mnoho postupů a metod jak hladkého průběhu vrstevnic dosáhnout. ArcGis funkce přímo pro vyhlazení vrstevnic neobsahuje, má ale nástroje pro vyhlazení lomené čáry (Cartography Tools -> Generalization -> Smooth Line). Další možností bylo vytvořit z TIN rastrový model a ten vyhladit pomocí nástrojů pro aplikaci filtrů (Spatial Analyst -> Focal Statistics, a z něj potom vytvořit vrstevnice. Byly vyzkoušeny obě tyto možnosti, a lepší výsledky byly dosaženy pomocí Smooth Line. Ten nabízí na výběr dva algoritmy: PAEK a Bezierovu interpolaci.

Algoritmus PAEK (Polynomial Approximation with Exponential Kernel) počítá hladké linie pomocí průběžného průměrování. Výsledek závisí na jednom parametru, který určuje vzdálenost po linii od právě počítaného bodu, do které budou body zahrnuty k výpočtu. Přitom se váhy pro každý bod zmenšují právě s touto vzdáleností po linii od právě počítaného bodu. Kromě průměrování je použita aproximace polynomu druhého stupně. Vyhlazená linie nemusí obsahovat žádný z vrcholů původní linie (kromě koncových bodů). Metoda je stabilní – malé změny parametru se projeví malými změnami ve výsledku.

Bezierova interpolace proloží každým liniovým segmentem Bezierovu křivku a ty jsou pak na vrcholech spojeny do hladké křivky. Algoritmus nevyžaduje žádný parametr. Výsledná křivka prochází všemi zadanými vrcholy.

Porovnání obou algoritmů je na Obr. 16. U algoritmu PAEK byly vyzkoušeny parametry 2; 5 a 10 a v následujícím porovnání je použit parametr roven 5, který asi nejlépe vystihoval průběh vrstevnic ve skutečném terénu (zobrazen modře), Bezierovy křivky průběhu terénu příliš neodpovídaly, (zobrazeny červeně), nevyhlazené vrstevnice představují černé lomené čáry.

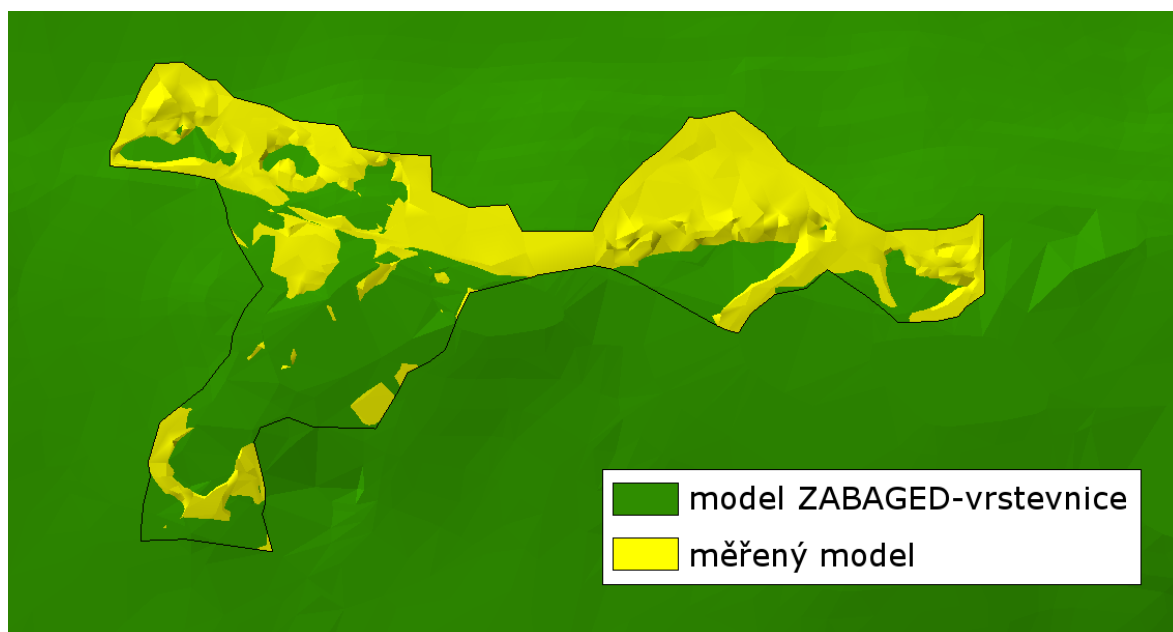


Obr. 16 – Algoritmy Smooth Line

Vrstevnice byly po vyhlazení exportovány do formátu dgn, toto lze provést z kontextového menu Table of Contents, položka Data -> Export to CAD. Otevře se nástroj Export to CAD, v němž se z nabídky různých formátů zvolil právě dgn. Vyexportované vrstevnice byly následně vloženy do souboru ucelova_mapa.dgn.

5.6. Porovnání vytvořených modelů

Původně, viz str. 27, byly vytvořeny tři modely terénu. První model, vytvořený ze sítě 10x 10 m, nebyl dále použit, z důvodu použití výhodnějšího vrstevnicového modelu. Druhý vytvořený model je tedy z vrstevnic ZABAGED. Třetí model je vytvořený z přímého měření v terénu. Pro získání představy, jak se liší model ZABAGED - vrstevnice od měřeného modelu může posloužit Obr. 17, vytvořený pomocí ArcScene, kde se tyto modely protínají. Žlutě je zobrazen měřený model, zeleně model z vrstevnic ZABAGED.

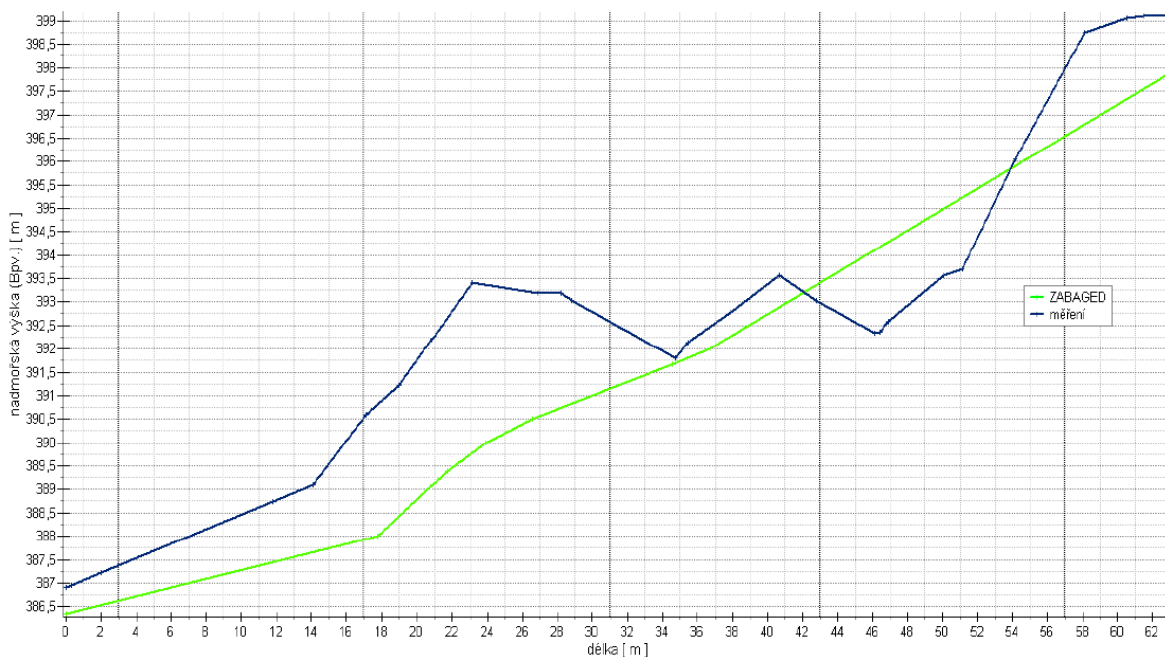


Obr. 17 – Protínající se modely v ArcScene

Pro porovnání obou modelů byly zvoleny profily v 20m rozestupu. Byl vytvořen nový pomocný liniový shapefile `profily.shp`, a zvolena poloha prvního profilu. Pomocí příkazu `Copy Parallel` v Editoru pak vznikly rovnoběžné linie ve vzdálenosti požadovaných 20 metrů. Dále bylo potřeba tyto linie oříznout pouze na měřenou lokalitu, k tomu byl použit nástroj `Clip (Analysis Tools -> Extract -> Clip)`. V `Input Features` byl zvolen ořezávaný shapefile s profily a jako `Clip Features`, tedy soubor podle kterého se bude ořezávat, již dříve (strana 29) vytvořený shapefile `obvod_mereni`. `Output Feature Class` je výstupní shapefile `profily_clip`.

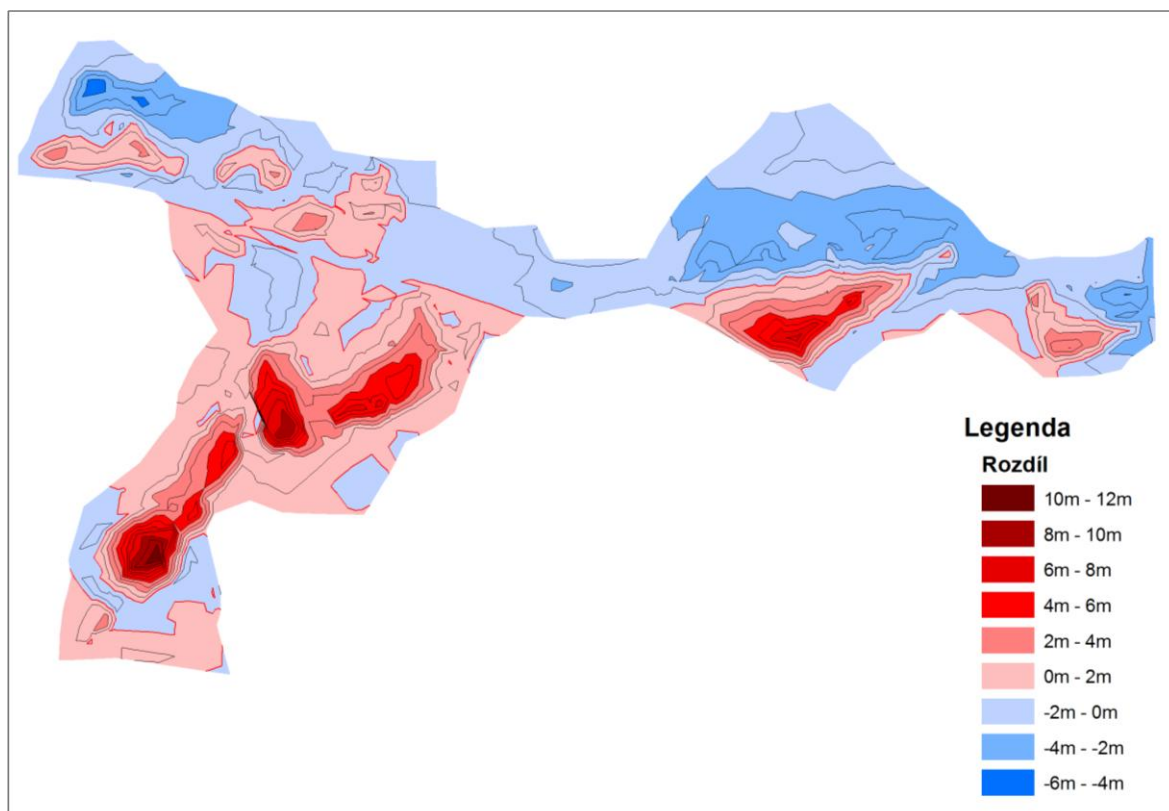
Shapefile `profily` obsahuje pouze přímky, kterým je nyní třeba přidělit výšky z vytvořených modelů. Pro toto byl použit nástroj (`3D Analyst Tools -> Functional Surface -> Interpolate Shape`). Tento nástroj byl použit stejným způsobem dvakrát, pro každý srovnávaný model byl vytvořen jeden soubor profilů. Nástroj je intuitivní, první položka `Input Surface` je zdrojový model pro interpolaci výšky. `Input Feature Class` je shapefile, kterému výšku určujeme (`profily.shp`). `Output Feature Class` je nový výstupní soubor (`profily_ZABAGED.shp` a `profily_merene.shp`). Zbýlé položky nebylo třeba nastavovat. Pomocný soubor `profily.shp` byl po dokončení odstraněn.

Nyní byly pokaždé vybrány „souběžné“ linie z obou shapefilů a pomocí příkazu Profile Graph z nástrojové lišty 3D Analyst vytvořeny grafy. Přehled těchto profilů je v příloze číslo 9 a samotné grafy profilů v příloze č. 10, ukázka jednoho z vytvořených grafů je na Obr. 18.



Obr. 18 – Ukázka profilů – profil č. 2

Kromě terénních profilů bylo pomocí nástroje Surface Difference vytvořeno grafické vyjádření rozdílů výškopisu modelu ZABAGED - vrstevnice a modelu měřeného terénu. Do tohoto nástroje byl jako Input Surface vložen model z měřených dat a jako Reference Surface model ZABAGED - vrstevnice. Output Feature Class je výstupní polygonový shapefile, který pouze rozděluje počítanou oblast na polygony „pod“ a „nad“, referenčním modelem. Pro vyjádření výškových rozdílů formou TIN je nutno vyplnit položky Output TIN Folder a Output TIN Base Name (anebo Output Raster a Raster Cell Size pro rastrový výstup). Tímto způsobem vytvořená TIN zobrazuje výškové rozdíly mezi modely a umožňuje zjistit, ve kterých místech byly tyto rozdíly maximální, a kde se naopak modely přibližovaly a protínaly. Toto grafické vyjádření rozdílů výškopisu modelu ZABAGED - vrstevnice a modelu měřeného terénu je na Obr. 19 a je obsahem přílohy č. 11.



Obr. 19 – Grafické znázornění rozdílů výškopisů vytvořených modelů

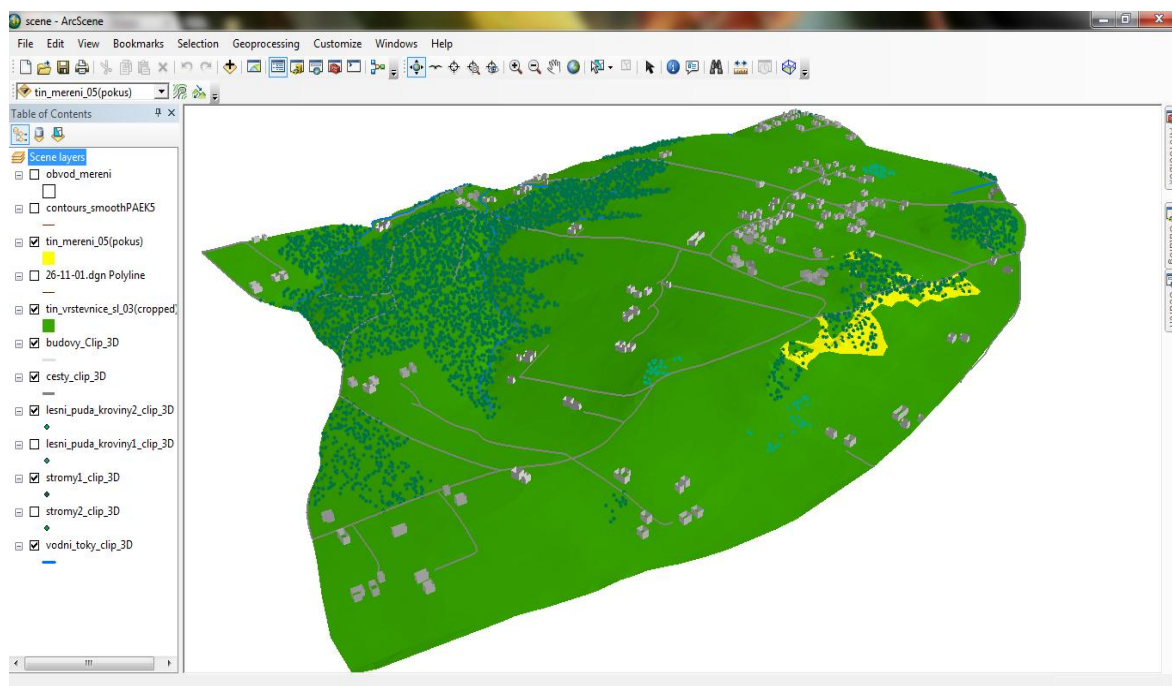
Vytvořené modely se liší, jak jasně vyplývá ze srovnání vrstevnic měřeného modelu s právě vytvořeným grafickým porovnáním nejvíce v místech, kde se nacházely hluboké těžební jámy. Maximální rozdíl je 10,5m, což překračuje střední výškovou chybu vrstevnic ZABAGED v zalesněném území, která je udávána $m_h=2-5m$. Důvodem takto velkého rozdílu může být neobvyklý tvar terénu, tzn. plošně malé, ale hluboké těžební jámy, které mohly být v měřítku 1:10 000, z něhož data ZABAGED původně vychází, kartografickou generalizací pominuty.

5.7. Polohopis

Nakonec byl proveden ořez modelu ZABAGED-vrstevnice, a to na hranice katastrálního území Kojkovice u Třince. Pro ořez nástrojem Edit TIN je nutné mít k dispozici shapefile, kterým se bude ořezávat. Ten byl vytvořen z polohopisu ZABAGED, konkrétně jde o vrstvu 60, hranice správní jednotky a k.ú. Postup byl takový, že v kontextovém menu vrstvy polyline se vybrala možnost Properties, a v záložce

Drawing Layers se zobrazila pouze vrstva 60. Poté bylo možné vrstvu vyexportovat z formátu dgn do shapefilu (možnost Export Data v kontextovém menu Table of Contents). Vznikl shapefile obsahující hranice k.ú. na celém mapovém listu, proto byly pomocí Editoru odstraněny nepotřebné linie a ponechány pouze hranice k.ú. Kojkovice u Třince. Ořez byl potom proveden již dříve popsáním nástrojem Edit TIN.

Podobně byly vytvořeny další shapefilu obsahující budovy, komunikace, zalesněnou půdu a vodní toky. Tyto shapefilu byly nástrojem Interpolate Shape, (který je popsán v předchozí kapitole během tvorby profilů) umístěny na 3D model. Následně bylo otevřeno prostředí ArcScene, a do něj vloženy obě TIN a právě vytvořené shapefilu, které vytvořily model, jaký lze vidět na Obr. 19. Stromy byly vygenerovány nástrojem Create Random Points. Budovy jsou pouze liniové prvky zviditelněné možností Extrusion v Layer Properties.



Obr. 20 – 3D model v prostředí ArcScene

6. ZÁVĚR

V této bakalářské práci byl vytvořen 3D model vybrané lokality v obci Kojkovice u Třince. Pro tvorbu byla použita data získaná přímým měřením v terénu.

Bylo zaměřeno celkem 904 podrobných bodů, ze 48 bodů pomocné měřické sítě. Měření bylo registrováno do pěti zápisníků a v jeho průběhu bylo vyhotoveno devět měřických náčrtů. Měření bylo zpracováno v programu Groma a v programu Microstation byla vyhotovena účelová mapa.

Následně byly souřadnice bodů vloženy do programu ArcMap, kde z nich byl pomocí nástrojů nadstavby 3D Analyst vytvořen digitální model terénu ve formě TIN, a z něho potom vrstevnice.

Kromě naměřených dat byla využita i data ZABAGED poskytnuta ČÚZK a z nich byl podobným způsobem vytvořen druhý model. Oba modely byly porovnány. Pro tento účel byly vyhotoveny terénní profily ve vzdálenosti 20 metrů, a pro lepší přehlednost také graficky znázorněny rozdíly mezi oběma modely. Rozdíly dosahují v některých místech hodnoty 10 metrů, což může být způsobeno nepřirozeným tvarem terénu jako důsledku provedené těžby vápence v měřené lokalitě.

Hlavním výstupem této bakalářské práce je 3D model měřené lokality uložen na přiloženém CD. Tento model může být dále použit například pro vizualizaci budoucí zástavby.

7. SEZNAM INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

NEVOSÁD, Z., VITÁSEK, J. *Geodézie III: Průvodce předmětem Geodézie III.*

Brno: VUT FAST, 2005. 176 s.

FIŠER, Z., VONDRÁK, J. *Mapování.* Brno: Cerm, 2006. ISBN 80-7204-472-9.

ČADA, V. *Přednáškové texty z Geodézie* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html>

KALVODA, P. *Pokyn pro tvorbu účelové mapy.* Brno, 2011, 15 s.

URBAN, J. *Digitální model terénu.* Praha: Nakladatelství ČVUT, 1990, 60 s.

BRÁZDIL, K. *Nový výškopis území České republiky – možnosti aplikací ve stavebnictví.* 2014.

KLIMÁNEK, M. *Geoinformační systémy návody ke cvičením v systému ArcGIS.*

Brno: MZLU, 2008. ISBN 978-80-7375-211-8.

Trimble 3600 Series User Guide. *Trimble* [online]. 2004 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-256904/3600UserGuide571703001ver0600ENG.pdf>

Trimble 3600 Total StationSeries. *Trimble* [online]. 2001 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.topotrade.ro/Documents/trimble3600.pdf>

Mapy Google [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <https://maps.google.cz/>

Groma - Rozšiřující modul pro vyrovnání sítí MNČ. *Groma – Geodetický software* [online]. 17.06.2010 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://www.groma.cz/cz/mod_grmnet

Základní báze geografických dat České republiky - úvod. *ČÚZK: Geoportál* [online]. 2010 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(juyix555ii00jbblyfojprf\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24&head_tab=sekce-02-gp](http://geoportal.cuzk.cz/(S(juyix555ii00jbblyfojprf))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24&head_tab=sekce-02-gp)

ESRI. *What is GIS?* [online]. 2012 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.esri.com/what-is-gis/overview#overview_panel

ESRI. *ArcGIS Desktop Help 9.3* [online]. 25.4.2009 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=welcome>

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

GIS – Geografický informační systém

ZABAGED – Základní báze geografických dat

S-JTSK - Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

Bpv – Výškový systém baltský po vyrovnání

PBPP – Podrobné bodové polohové pole

ZBPP – Základní bodové polohové pole

GNSS – Global Navigation Satellite System – Globální polohový družicový systém

DR – Direct Reflex – Přímý odraz

MNČ – Metoda nejmenších čtverců

DMT – Digitální model terénu

TIN – Triangulated irregular network - nepravidelná trojúhelníková síť

PAEK – Polynomial Approximation with Exponential Kernel

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

1. Vyznačení zadané lokality. Zdroj: <https://maps.google.com/>
2. Fotografie lokality
3. Fotografie lokality
4. Trimble Zeiss 3603 DR
5. Ukázka měřického náčrtu
6. Výpočet polygonového pořadu
7. Výpočet rajonu
8. Trigonometrické určení výšky
9. Výpočet polygonového pořadu v programu Groma
10. Vyrovnání sítě v programu Groma
11. Nástroj Create TIN
12. Nástroj Delineate TIN Data Area
13. Tvorba obvodového polygonu
14. Nástroj Edit TIN
15. TIN před a po manuální úpravě
16. Algoritmy Smooth Line
17. Protínající se modely v ArcScene
18. Ukázka profilů – profil č. 2
19. Grafické znázornění rozdílů výškopisů vytvořených modelů
20. 3D model v prostředí ArcScene

10. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Zápisníky měření (pouze v digitální podobě)

Příloha č. 2: Adjustované měřické náčrty (pouze v digitální podobě)

Příloha č. 3: Výpočetní protokoly (pouze v digitální podobě)

Příloha č. 4: Seznamy souřadnic (pouze v digitální podobě)

Příloha č. 5: Geodetické údaje (pouze v digitální podobě)

Příloha č. 6: Účelová mapa (v tištěné i digitální podobě)

Příloha č. 7: Přehledný náčrt pomocné měřické sítě (v tištěné i digitální podobě)

Příloha č. 8: 3D model v ArcGis (pouze v digitální podobě)

Příloha č. 9: Přehled profilů (v tištěné i digitální podobě)

Příloha č. 10: Profily (v tištěné i digitální podobě)

Příloha č. 11: Grafické znázornění rozdílů výškopisů vytvořených modelů (v tištěné i digitální podobě)